

К вопросу о настройке системы управления электропривода постоянного тока на модульный оптимум. Ч.1

СТАШИНОВ Ю.П.

Получена математическая модель двухконтурной системы управления электропривода постоянного тока при реализации устройства управления на наиболее распространённых П и ПИ регуляторах. Оптимизируемыми параметрами системы являются: коэффициенты усиления контуров тока и скорости и коэффициенты интегральных составляющих регуляторов этих контуров. Рассмотрены два варианта оптимизация структуры и параметров системы: – стандартная последовательная настройка контуров тока и скорости на модульный оптимум, которая приводит к статической системе управления с П регулятором скорости и ПИ регулятором тока; – настройка системы на модульный оптимум как единого целого, без выделения контуров тока и скорости, которая приводит к астатической системе с ПИ регулятором скорости и П регулятором тока, либо без регулятора тока – с отрицательной токовой обратной связью на вход преобразователя. Приведены формулы для определения оптимальных значений настраиваемых параметров для обоих вариантов. Компьютерным моделированием в MatLab-Simulink на конкретном примере показано, что система с настройкой по второму варианту имеет более высокие показатели качества управления по точности, быстродействию и перерегулированию при изменении задающего и возмущающего воздействий.

Ключевые слова: система управления, электропривод постоянного тока, настройка, модульный оптимум.

The mathematical model of the two-loop control system of DC electric drive with control unit realization on the widespread P and PI controllers was obtained. The optimized parameters of the system are: gain coefficients of the current and speed closed loops and coefficients of integral components of the corresponding controllers. Two variants of optimizing system structure and parameters are considered: – standard consecutive adjustment of the current and speed loops to the modulus optimum – leads to the static control system with a P speed controller and a PI current controller; – system adjustment to the modulus optimum as united whole – leads to the astatic system with a PI speed controller and a P current controller or without current controller – with proportional current feedback to the power converter input. Formulas for optimal values of adjustable parameters for both variants are obtained. It was shown for instance by simulation in MatLab-Simulink, that the system, adjusted according to the second variant, has better performance indices such as offset, transient time and overshooting at changing set point and disturbance variable.

Key words: control system, DC electric drive, adjustment, modulus optimum.\

Плотность тока в ВТСП токовводах

БУЯНОВ Ю.Л.

Рассмотрено тепловое состояние токовводов на основе высокотемпературных сверхпроводников при изменении плотности тока. Описано изменение теплового режима в резистивной секции токоввода и на участке соединения нормального

проводника со сверхпроводником. Указаны причины, ограничивающие плотность тока в токовводах. Представлен аналитический метод определения допустимой плотности в токовводах, при которой максимальная температура резистивной секции не превышает заданную допустимую, а температура контактного участка не превышает критическую температуру перехода сверхпроводника в нормальное состояние. Получены аналитические уравнения, определяющие распределение температуры в резистивной секции и нормальном проводнике контактного участка. Приведено уравнение, определяющее длину контактного участка, на котором сохраняется температура ниже критической, в зависимости от выбранной максимальной допустимой температуры резистивной секции.

Ключевые слова: высокотемпературные сверхпроводники, ВТСП токовводы, оптимизация криотокроводов.

Examined the thermal state of the current leads on the basis of hightemperature superconductors when the current density changes. Described change in the thermal regime in the resistive section and the current lead in the joint portion of the normal conductor to a superconductor. The reasons identified that limit the current density in the current leads. Using constant effective values of the resistivity and the thermal conductivity, an analytical method for determining the permissible density current leads at which the maximum temperature resistive section does not exceed the permissible and the temperature of the contact portion does not exceed the critical temperature of the superconductor to the normal state. Analytical equations were prepared, which determine the temperature distribution in the resistive section, and a normal conductor at the contact portion. Provides an equation that determines the length of the contact area in which the temperature is maintained below the critical temperature, depending on the selected maximum permissible temperature resistive section. *Key words:* hightemperature superconductors, HTS current leads, optimization cryogenic current leads.

Выбор параметров преобразовательного устройства по условиям электромагнитной совместимости

ЗАГОРОДСКИХ Е.В., СКВОРЦОВ В.А.

Рассмотрено влияние частоты коммутации и относительной длительности открытого состояния силового ключа импульсного преобразователя на уровень кондуктивной помехоземиссии по цепям питания в диапазоне частот 0,15–30 МГц. Выполнено разложение прямоугольного импульса с частотой 50 и 100 кГц в ряд Фурье в моделирующей системе LTSpice. Результаты этих исследований позволили оценить возможность снижения уровня эмитируемых помех при использовании меньшей частоты коммутации силового ключа. Результаты подтверждены натурными экспериментами, выполненными на основе имитации выходного узла импульсного преобразователя. При проведении натурных испытаний использовался регламентированный ГОСТ комплекс для измерения уровня помехоземиссии. Показано, что выбор частоты преобразования необходимо осуществлять не только с позиции минимизации габаритов устройства, учёта скин-эффекта и перемагничивания сердечника дросселя или трансформатора, но

также с учетом уровня допустимой помехоэмиссии преобразователя. При использовании ШИМрегулируемого в ключевом преобразователе необходимо в номинальном режиме стремиться к относительной длительности открытого состояния ключа, близкой к 50%.

Ключевые слова: преобразователь, электромагнитная совместимость, промышленные радиопомехи, относительная длительность импульса, спектр частот.

The paper outlines an impact of the switching frequency and on state relative impulse duration of the power switch of an impulse convertor on the level of the conductive emission by the feed circuit in the frequency range 0,15–30 MHz. It was performed Fourier expansion of the rectangular impulse with the frequency 50 and 100 kHz in the simulated system LTSpice. The results of this research allow to realize how to reduce the level of the conductive interferences using lower switching frequency of the power switch. These results confirmed by the fullscale experiments. These experiments are based on imitation of the output block of the impulse convertor. It was used the measuring means which are restricted by State Standard to lead the fullscale experiments. There are shown, that to choose the switching frequency not only with the side of gross geometry minimization of the device, skin effect, magnetization reversal of coil and transformer core, but in consideration of the acceptable level of the interferences emission. It is necessary (in the case of nominal power) to provide on state relative impulse duration close to 50% in the switching PWMconvertor.

Key words: converter, electromagnetic compatibility, industrial radio interferences, relative impulse duration, frequency spectrum.

Влияние параметров входного фильтра на коэффициент мощности понижающего преобразователя переменного напряжения

ГОРБУНОВ Р.Л., ПОСКОННЫЙ Г.И.

Описана зависимость коэффициента мощности понижающего преобразователя переменного напряжения от параметров элементов входного LC-фильтра. Полученные результаты позволяют выбрать параметры фильтра, при которых в рабочем диапазоне регулирования напряжения обеспечивается высокий коэффициент мощности преобразователя. Анализ выполнен для широтно-импульсного алгоритма регулирования напряжения и нагрузки в виде асинхронного двигателя. Результаты исследования подтверждены компьютерным моделированием и экспериментами.

Ключевые слова: преобразователь переменного напряжения, широтно-импульсное регулирование, асинхронный двигатель, коэффициент мощности.

The article presents relationship between power factor of AC Chopper and it's input filter parameters. The findings make it possible to choose filter parameters, which provide high power factor of a chopper in a rated output voltage range. The analysis was carried out for equal duty cycle control technic and an induction motor was considered as a load. The results of analysis were verified by computer simulation and experiments.

Key words: AC converter, pulsewidth regulation, induction motor, power factor

Повышение точности многостороннего волнового определения места повреждения линий электропередачи за счет использования разностно-дальномерного метода

КУЛИКОВ А.Л., АНАНЬЕВ В.В.

Используемый в электрических сетях двухсторонний метод волнового определения места повреждения линий электропередачи обладает существенными ошибками из-за изменения скорости распространения электромагнитной волны вдоль линии. Авторами разработан метод повышения точности волнового определения места повреждения для линий электропередачи с ответвлениями, основанный на разностно-дальномерном навигационном алгоритме. Точность оценки расстояния до места повреждения с использованием разработанного метода вдвое выше, чем при двухстороннем методе волнового определения места повреждения. Рассмотрено влияние внешних факторов (изменения стрелы провеса, сопротивления грунта, мгновенного значения тока в момент повреждения) на точность разработанного метода и двухстороннего метода волнового определения места повреждения. Предложенный метод позволяет существенно снизить ошибки оценки расстояния до повреждения, подвержен меньшему влиянию внешних факторов на точность оценки расстояния до повреждения. Разработанный метод может быть внедрен как в существующие, так и в перспективные устройства волнового определения места повреждения.

Ключевые слова: линия электропередачи, волновой метод определения места повреждения, скорость распространения электромагнитных волн

Double ended travelling wave fault location method used in the electrical network has significant errors due to changes in the electromagnetic waves propagation velocity. An improved accurate travelling wave fault location method based on navigation algorithms is developed. The method is applicable on lines with branches. The distance to fault estimate for the developed method is up to two times more accurate in comparison with double ended travelling wave fault location method. The developed method accuracy is less influenced by the external factors (sag, soil resistance, the value of the instantaneous current at the fault time) than accuracy of double ended travelling wave fault location method. An improved method allows reducing the errors in distance estimation to the damage, improved method accuracy is less influenced by external factors. The developed method can be embedded into existing and future travelling wave method based fault location devices.

Key words: power transmission lines, travelling wave fault location, travelling wave speed

Параметрический синтез пассивных фильтрокомпенсирующих устройств ДОВГУН В.П., ЕГОРОВ Д.Э., ШЕВЧЕНКО Е.С.

Рассмотрен метод расчета пассивных фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), основанный на оптимизации характеристик в пространстве параметров операторного входного сопротивления фильтра. Варьируемыми параметрами

являются полюсы и коэффициент нормирования операторного сопротивления фильтра. Предлагаемый метод расчета позволяет синтезировать фильтрокомпенсирующие устройства, осуществляющие компенсацию реактивной мощности, подавление канонических гармоник и исключают резонансное усиление неканонических (анормальных) гармоник. Приведен пример расчета ФКУ с помощью предлагаемого метода.

Ключевые слова: нелинейная нагрузка, пассивные фильтрокомпенсирующие устройства, компенсация реактивной мощности

A method of optimal design for passive power filters, based on performance optimization in the space of input impedance parameters is considered. Variable parameters are poles of the filter impedance. The filter designed with the help of proposed method satisfies requirements of reactive power compensation, harmonic filtering and minimizing the amplification of minor harmonics. The design example illustrating the proposed approach is given.

Key words: nonlinear load, passive power filters, reactive power compensation

Применение обобщенных законов коммутации для увеличения величины импульсов тока

ПУСТЫННИКОВ С.В.

Для получения импульсов тока в активной нагрузке применяется схема, использующая эффект размыкания тока в первичной обмотке импульсного трансформатора. При отключении источника постоянной ЭДС, ток в первичной обмотке уменьшается до нуля и во вторичной обмотке импульсного трансформатора формируется импульс тока, передаваемый в нагрузку. Разработана схема индуктивноимпульсного генератора, использующего обобщенные законы коммутации для увеличения амплитуды и мощности импульсов тока в активной нагрузке. Схема содержит импульсный трансформатор, вторичная обмотка которого подключена к нагрузке, а параллельно первичной обмотке подключена дополнительная катушка индуктивности. При отключении источника постоянной ЭДС ток в первичной обмотке переходит через ноль и уменьшается до некоторого отрицательного значения, что приводит к значительному увеличению импульса тока в нагрузке. В соответствии с обобщенным законом коммутации получены формулы для расчета скачка тока в первичной обмотке импульсного трансформатора и скачка тока в нагрузке. С помощью метода переменных состояния разработаны математические модели работы обеих схем на линейную активную нагрузку. Проведенные расчетные и экспериментальные исследования, показали значительное увеличение значения импульса тока и его мощности в линейной активной нагрузке при работе схемы индуктивноимпульсного генератора. Экспериментальные значения токов в катушках индуктивностей и в нагрузке практически совпали с расчетными значениями.

Ключевые слова: генератор, импульс тока, математическая модель, катушка индуктивности, осциллограмма

In order to get the current pulses applied to the active load, the circuit breaking effect has been used in the primary winding of the pulse transformer. When the direct current voltage source is disconnected, the current of primary winding is reduced to zero so that in the secondary winding of pulse transformer the current pulse is formed which is transmitted into the load. The circuit of the inductive pulse generator operating on the basis of generalized switching laws was developed to increase the amplitude of current pulses in the active load and the corresponding power. The circuit contains a pulse transformer, the secondary winding of pulse transformer is connected to the load, the additional inductor is connected to the primary winding of pulse transformer. When the direct current voltage source is disconnected, the current of primary winding passes through zero and decreases to the negative value that leads to a significant increase of the current pulse in the load. In accordance with the generalized law of commutation the relationships for the calculation of the current jump of pulse transformer primary winding and a jump in the load current have been obtained. Using the statespace technique the mathematical models of the circuits mentioned above with linear active load have been developed. The theoretical and experimental studies have shown a significant increase of the value of current pulse capacity of the active linear load when the inductively pulse generator has been used. The values of currents in inductive coils detected experimentally were practically the same as the calculated values.

Key words: generator, current pulse, mathematical model, inductor, oscillogram.

Параметрический анализ при проектировании технологических электронных пушек

ЩЕРБАКОВ А.В., ИВАЩЕНКО М.В., КОЖЕЧЕНКО А.С., ГРИБКОВ М.С.

Предложена методика проектирования электронных пушек, основанная на применении методов параметрического анализа и оптимизации. Обоснованы критерии выбора варьируемых параметров – радиуса сферической поверхности управляющего электрода и положения центра сферы относительно катода. Показано, что при учете технических ограничений материалов и выбранной конструкции задача проектирования электронной пушки может быть сведена к классической оптимизационной. Приведен пример расчета характеристик прототипа электронной пушки с использованием предложенной методики. Анализ результатов вычислительных экспериментов позволил сформулировать рекомендации для разработчиков сварочных технологических пушек в виде параметрических зависимостей и алгоритмов проектирования.

Ключевые слова: электронная пушка, система проектирования, электронно-лучевая сварка, математическое моделирование

A method of designing electron guns, based on the method of parametric analysis and optimization is offered. The criteria of selection of variable parameters – the radius of the spherical surface of the gate electrode and the position of the center of the sphere with respect to the cathode were justified. It is shown that taking into account the technical limitations of the materials and chosen design leads to reduction of the task of designing the electron gun to the classical optimization problem. An example of calculating the characteristics of the prototype electron gun using the proposed method

is given. Analysis of computational experiments results allowed to formulate recommendations for the developers of welding electron beam guns in the form of parametric dependencies and design algorithms.

Key words: electron gun, system design, electron beam welding, mathematical modeling

Магнитогазодинамическая модель сварочной дуги

КИМ К.К., КАРПОВА И.М.

Описана магнитогазодинамическая модель сварочной дуги постоянного тока, свободно горящей в аргоне при атмосферном давлении между стержневым катодом и плоским анодом. Модель представляет собой самосогласованную систему, включающую уравнения движения, плазменного состояния и электродинамики. Описываемая модель не учитывает механизм формирования плазменного канала за счет ионизационных процессов и, соответственно, возрастание электропроводности газа, однако позволяет проанализировать процессы в сформировавшейся дуге и оптимизировать условия сварки – размеры электродов, расстояние между ними, скорости входных потоков и т.д. Численная реализация модели в рамках осесимметричной постановки выполнена в программно-вычислительном комплексе COMSOL Multiphysics. Показано, что определяющими факторами в процессе формирования дуги являются дуговой ток и длина дуги. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: электрическая дуга, магнитогазодинамическая модель, плазма, излучение

We describe the magnetogasdynamic model of a welding arc of a direct current freely burning between the rod cathode and the plane anode in the argon at the air pressure. The model represents a selfconsistent system consisting of the equation of motion, the equation of a plasma station and the electrodynamic equations. This model ignores the mechanism of forming the plasma channel due to the ionization processes therefore it ignores the increasing of the gas conductivity. But it makes it possible to analyze the processes in the mature arch and to optimize the welding conditions that is the electrode dimensions, the distance between the electrodes, the speed of the input flows and etc. The numerical implementation of the model within the limits of the axisymmetrical task is made in the programcomputer system COMSOL Multiphysics. We show that the arch current and the arch length are the definite factors in the arch process. The received results are well agreed with the experimental data.

Key words: an electric arc, a magnetogasdynamic model, plasma, radiation

Устранение основных причин отказов паяных соединений электротехнических изделий

ШТЕННИКОВ В.Н.

В статье проанализированы основные причины образования дефектов паяных

соединений электротехнических изделий. На базе комплекса теоретических и экспериментальных исследований показаны пути их устранения. Установлено влияние начальной температуры паяльного стержня и паяного соединения, диаметра паяльного стержня и провода, теплофизических параметров материала паяльного стержня и провода на температуру пайки. Показано, что при контакте с паяным соединением снижение температуры паяющего конца паяльного стержня пропорционально площади поперечного сечения паяемого провода и обратно пропорционально площади поперечного сечения паяльного стержня. Результаты работы внедрены в серийное производство. Применение предложенных решений позволило значительно снизить число дефектов паяных соединений в электротехнических изделиях, в том числе, работающих в условиях повышенной температуры и вибраций. Полученные результаты могут быть использованы для уточнения национальных и международных стандартов.

Ключевые слова: электротехнические изделия, пайка, теплопроводность, качество

The article analyzes the main reasons for the formation of solder joint defects electrical products. On the basis of complex theoretical and experimental studies have shown how to overcome them. The influence of the initial temperature of the soldering rod and solder joint, the diameter of the rod and wire soldering, thermal parameters of the material soldering rod and wire for soldering temperature. It is shown that in contact with the solder connection drop in temperature of the soldering end of the rod is proportional to the cross section of the wire and inversely proportional to the crossbar soldering rod. The results have been implemented in production. The use of these solutions significantly reduce the number of solder joint defects in electrical products, including working in conditions of high temperature and vibration. The results can be used to improve the national and international standards.

Key words: electrical products, soldering, thermal conductivity, quality

Влияние геоиндуцированных токов на тепловой режим силовых трансформаторов

ВАХНИНА В.В., КУЗНЕЦОВ В.Н., ШАПОВАЛОВ В.А.

Разработаны методы расчета температуры наиболее нагретых точек бака и обмоток силовых трансформаторов при протекании по заземленным обмоткам геоиндуцированных токов. Для силового трансформатора ТРДН-63000/115/6,3/6,3 получены зависимости дополнительных потерь в баке и обмотках. Показано, что дополнительные основные потери в обмотках силового трансформатора, вызванные протеканием геоиндуцированного тока, зависят от 1- и n-й гармонических составляющих тока намагничивания и от коэффициента загрузки силового трансформатора. Определены зависимости превышения температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой окружающего воздуха от значения геоиндуцированного тока и коэффициента загрузки. Установлено, что на превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой окружающего воздуха влияют также полные дополнительные потери активной мощности в баке от вихревых токов при геомагнитной буре. Определена допустимая нагрузочная способность силовых трансформаторов при

геомагнитных бурях различной интенсивности в зависимости от температуры окружающего воздуха. Увеличение нагрузочной способности силовых трансформаторов выше установленных значений при геомагнитных бурях может привести к перегреву обмоток силового трансформатора и срабатыванию газовой защиты силового трансформатора на отключение, что вызовет нарушение функционирования электроэнергетической системы.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, силовой трансформатор, геоиндуцированный ток, потери активной мощности

The methods of calculation of thermal processes and the temperature of most heated point of the tank of power transformer and its windings during the flow of geomagnetically induced currents through the grounded windings were developed. For the transformer type TRDN-63000/115/6.3/6.3 were obtained the characteristics of additional losses in the tank and in the windings from the magnitude of geomagnetically induced currents which are based on the 1st and the n-th harmonic components of the magnetizing current. It is shown in the article that the additional main losses in the windings of the power transformer are caused by the flow of geomagnetically induced current which depends on 1st and the n-th harmonic components of the magnetizing current and the load factor of the power transformer. Were estimated the characteristic of temperature rise of the most heated point of the winding over the ambient temperature on the value of geomagnetically induced current and load factor of power transformer. It was found that temperature rise of the most heated point of the winding over the ambient temperature affects not only the quantity of geomagnetically induced current, load factor of the power transformer, but as well as the full additional losses of active power in the tank of power transformer from the eddy currents in the geomagnetic storm. Identified the acceptable load capacity of power transformers during the geomagnetic storm of varying intensity depending on the ambient temperature. The increasing of load capacity of power transformers above set values for geomagnetic storms can cause the overheating of its windings and triggering the transformer gas protection to trip, that will cause a malfunction of the electric power system.

Key words: electrical power system, power transformer, geomagnetically induced current, active power losses.